

光無線システムに対する福井市の降雨・降雪の影響

Influence of the Rain and Snowfall on Optical Wireless System in Fukui-shi

上谷 輝晃*

(福井大学大学院工学研究科)

奥田 篤士*

(福井大学大学院工学研究科)

西 昭宣**

(小林産業株式会社総合企画部)

桜井 哲真***

(福井大学大学院ファイバーアメニティ工学専攻)

1. はじめに

近年、ネットワークの広帯域化が進んでおり、ブロードバンド化が活発に行われている。しかし、ネットワークの整備の地域格差が生じている。ネットワークの整備が遅れている地域にあっては広帯域ネットワークを敷設する方法として無線システムへの関心が高まっている[1]。その理由としては、数 km の距離を 10Mbps 以上の伝送量で接続できる、敷設・撤去が容易、敷設後のネットワーク拡張や変更が可能、などの効用を挙げることができる。福井大学と福井大学附属中学（以下附属中学と略す）は距離で約 1500m 離れており、附属中学は伝送量 1Mbps の専用線を利用してインターネットに接続していた。しかし、教育用の高品質動画像（MPEG2 など）を用いた遠隔授業などの配信を行うには伝送量が不十分であると考えた。そこで、附属中学と福井大学の双方向を結ぶ文字情報、静止画、動画像のためのマルチメディア通信ネットワークを敷設する方針が決定され、その候補として赤外線を使用した光無線システムが検討された。この理由として、電波法の規制を受けないのでネットワークを敷設する免許や許可が不要、マルチメディアコンテンツの送受信に必要な 100Mbps 以上の伝送量で利用可能、敷設・撤去が容易ですぐに運用可能、などの効用が挙げられた。しかし一方で、赤外線は指向性が強く、気象や飛翔物による伝送路の切断が危惧されている[2]。

本論文では多雪地域といわれる福井市において、2000 年 12 月から 2001 年 2 月までの冬季 3 ヶ月間の気象が光無線システムの伝送量に及ぼす影響を調べた。また、懸念される飛翔物に関しても、モデル的な実験を行ってその影響の程度を明らかにした。なお、本論文の対象となった評価期間中、1 時間に 70mm を越す 16 年に一度の大雪となり、JR は急行列車や普通列車を含む合計 665 本が運休し、一般道路や高速道路は断続的に通行止めになった。この気象状況は、光無線システムの評価に対して厳しい条件となった[3]。

(キーワード：光無線システム, 視程, 多雪)

*Teruaki Kamiya

(Graduate School of Engineering, Fukui University, Fukui-shi, 910-8507 Japan)

*Atsushi Okuda

(Graduate School of Engineering, Fukui University, Fukui-shi, 910-8507 Japan)

**Akinobu Nishi

(KOBAYASI SANGYO&CO., LTD, Fukui-shi, 919-0474 Japan)

***Tetsuma Sakurai

(Graduate School of Engineering, Fiber Amenity course, Fukui University, Fukui-shi, 910-8507 Japan)

2. 光無線システムの特徴

本論文で検討した光無線システムの諸元を表 1 に示す. 本システムは波長 840nm の赤外線を使用し, 最大伝送距離 4000m, 伝送量 20~155Mbps で全二重通信を可能とする. 対応するプロトコルは Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM 等である. エラー訂正をパーソナルコンピュータ (以下 PC と表記) のプロトコルに任せることでネットワークのプロトコルに依存しない 100Mbps 以上のブロードバンドネットワークを補完する無線システムとして機能する. このシステムは図 1 (a) に示すように全面に 4 つの発光素子と 4 つの受光用素子を持つ. 開口面において時計の文字盤の 12 時, 3 時, 6 時, 9 時の位置に発光素子が, その間に受光素子が配置されている. 赤外線を使用しているので電波式の無線システムに比べて指向性が強く, 放射面前方を飛翔物が横切った場合には, 伝送量に影響を及ぼす可能性がある. また, 使用している赤外線は雨や雪などの気象状況, あるいは空気中の湿度含有量によって減衰することが知られており, 光無線システムを運用するにはこれらの影響を評価することが必要と考えた.

表1 光無線システムの諸元

発光部		受光部	
発光パワー(mW)	5.0	受光レンズ半径(mm)	40
ピーク波長 (nm)	840	受光レンズ数	4
ビーム本数	4	受光レンズ (mm ²)	約 5000
総発光パワー(mW)	20.0	総受光レンズ面積 (mm ²)	約 20000
発光ビーム半径(mm)	8.1	最大受光感度 (dBm)	-13.0
ビーム面積 (mm ²)	206.1	最小受光感度 (dBm) (エラーレート 1 0 ⁻⁹ が基準)	-41.0
総ビーム面積 (mm ²)	824.5	ダイナミックレンジ (dB)	28
ビーム指向半値角 θ (rad)	0.003		

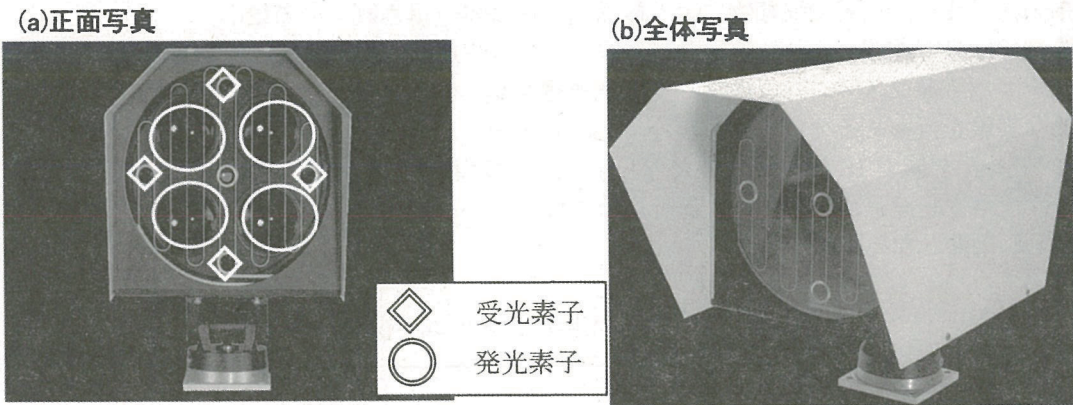


図 1 光無線システム

2. 1 赤外線の酸素, 水分吸収特性

本論文の対象とした光無線システムの赤外線について, 気象による減衰量を見積もった. 対象とした光無線システムが採用している赤外線の波長は 840nm であり, 良く知られた大気の大気減衰特性[4] (図 2 参照) に示す縦の破線部分である. 減衰量の大きい順に霧 0.1g/m³, 雨 150mm/h, 雨 25mm/h, 雨 0.25mm/h, 晴れの順である. 晴れのときが一番影響を受けにくく, 空気中の湿度の量あるいは降水量によって減衰量が変わることが報告されている[4]. また, 無線システムの仕様書に明記された受

光部のダイナミックレンジは 28dB であり, 大学と附属中学の距離 1.5km で割った値, 18.7dB が 1km 当たりの許容減衰量となる. これは図 2 で示す横の一点鎖線部分に当たる. この一点鎖線以上の減衰量を与える, 霧 0.1g/m³ 以上, 雨 150mm/h 以上の気象状況では通信が困難になることが予測できる.

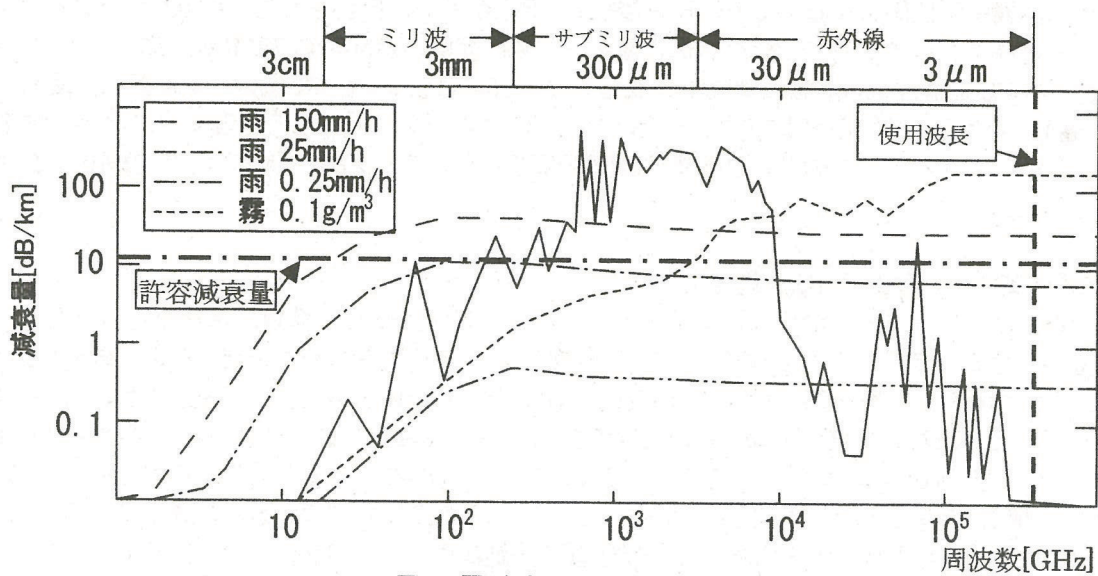


図 2 電磁波の大気減衰特性[4]

2.2 通常帯域評価システムの構成

評価に用いたネットワーク構成を図 3 に示す. 福井大学と附属中学それぞれに 10BASE-T や 100BASE-TX 等の Ethernet を基本としたネットワークが構成されている. これらネットワークの一部に光無線システムを接続するために, Ethernet の 10Mbps あるいは 100Mbps の信号を自動認識する 8 ポートスイッチング HUB を設置した. なお, 本光無線システムは入出力を光ファイバーで行っているため, ネットワークと接続するために電気-光パルスコンバータ (以下, M/C と表記) を接続している.

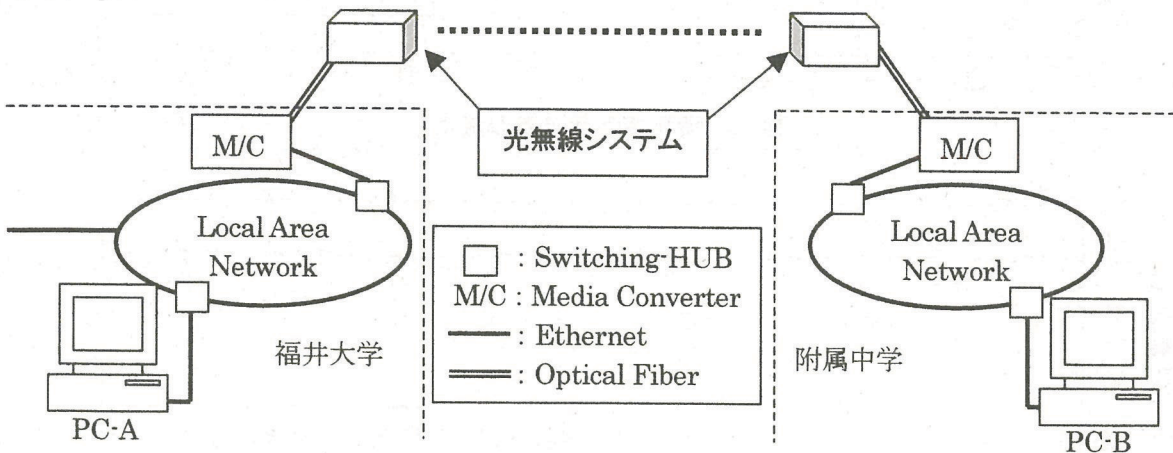


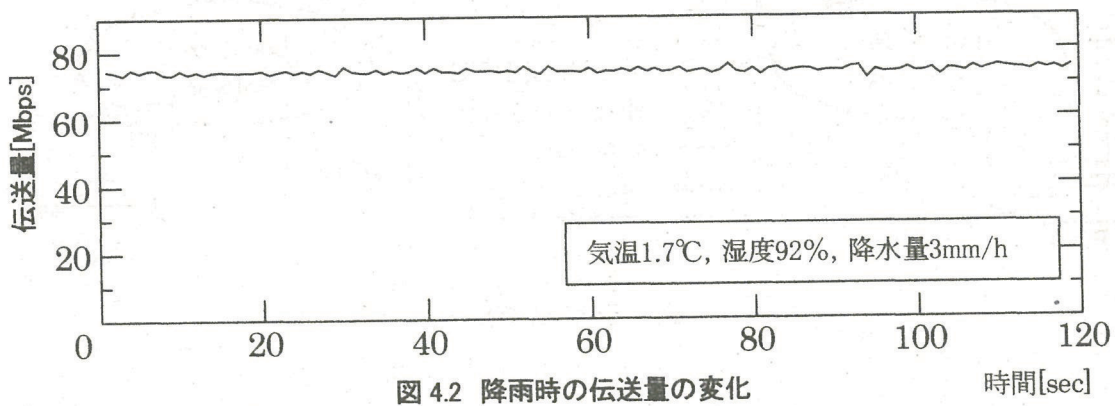
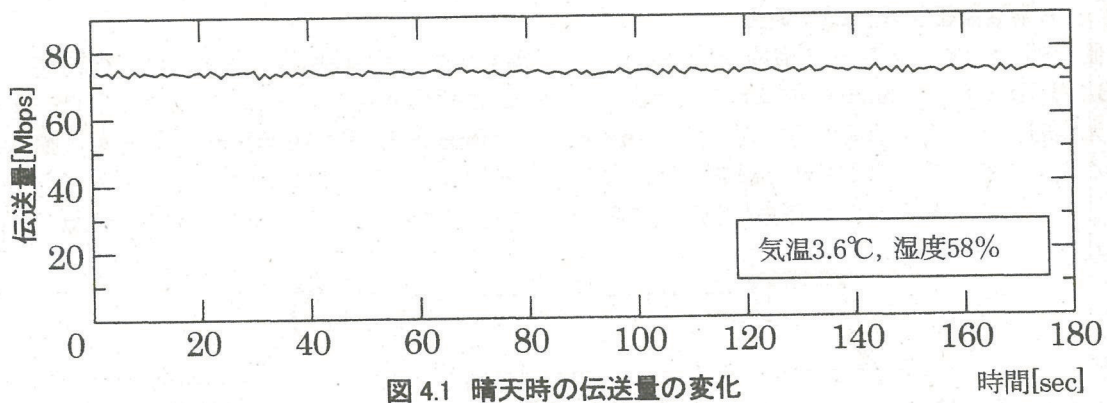
図 3 システム構成

3. 光無線システムに対する気象の影響

ネットワークの性能評価は、図3に示す2台のPC間(A及びB)でICMP(Internet Control Message Protocol) ECHO パケットを連続送受信することで行い、そのパケット数を別のPC(図示せず)でモニターした。気象における性能評価に先立ち、図3の福井大学内のLANから分岐したスイッチングHUBに附属中学校側に設置するPC-Bを接続し、PC-AとPC-B間を前記ECHOパケットで評価した。この接続における2台のPC間の伝送量は、送信、受信の合計が約72Mbpsであった。この性能は、2台のPCを理想的な状態で直結した場合の値：200Mbpsに比べて低い。この差は、使用したPCの内部バスのデータ転送およびスイッチングハブのスループットによる影響などが原因と推定できる。以上からネットワーク構成の評価基準値は実際のネットワーク測定で得られた72Mbpsを用いることとした。

3.1 通常の気象状況における伝送量変化

気象状況によって赤外線が減衰量が変わることから、通常の晴れ、降雨、降雪などの状況によって伝送量が異なると考えた。通常の晴れ、降雨、降雪における伝送量の変動を評価した。結果を図4.1～4.3に示す。評価中の雨や雪の程度及び湿度は、福井大学から2km離れた福井地方気象台より得たデータを用いた。晴れの天気は気温3.6℃、湿度58%、雨は気温1.7℃、湿度92%、降水量3mm/hである。このときの降水量は気象庁が定める尺度において平均的な雨である。雪の天気は気温-0.9℃、湿度93%、積雪20mm/hであり、同じく気象庁が定める尺度においては、通常の降雪である。図4.1～4.3に示すようにいずれの天候においても伝送量の変動は小さく72Mbpsで一定である。このことから通常の気象状況においては本光無線システムが安定した伝送量を提供することが明らかとなった。



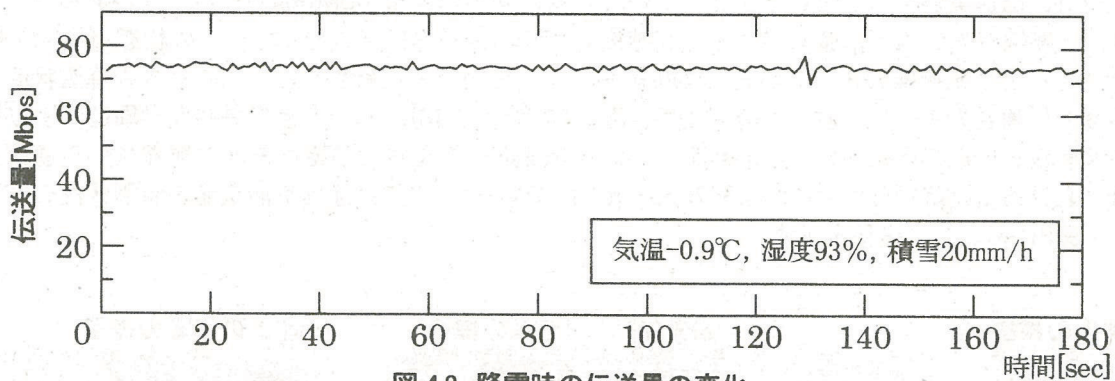


図 4.3 降雪時の伝送量の変化

3.2 湿度と伝送量の関係

赤外線の水分子吸収によって伝送量に影響が表れるのなら、同様の気象状況であっても空気中の水分状況、つまり湿度によって伝送量が異なると考えた。福井市における 2000 年 12 月から 2001 年 2 月までの 3 ヶ月間にわたって気象状況ごとに湿度と伝送量の関係を記録し、その様子を図 5 に示した。伝送量は湿度によらずほぼ 72Mbps を示したので、福井市の冬期 3 ヶ月間の湿度によって本光無線システムが伝送量に受ける影響は少ないことが明らかとなった。

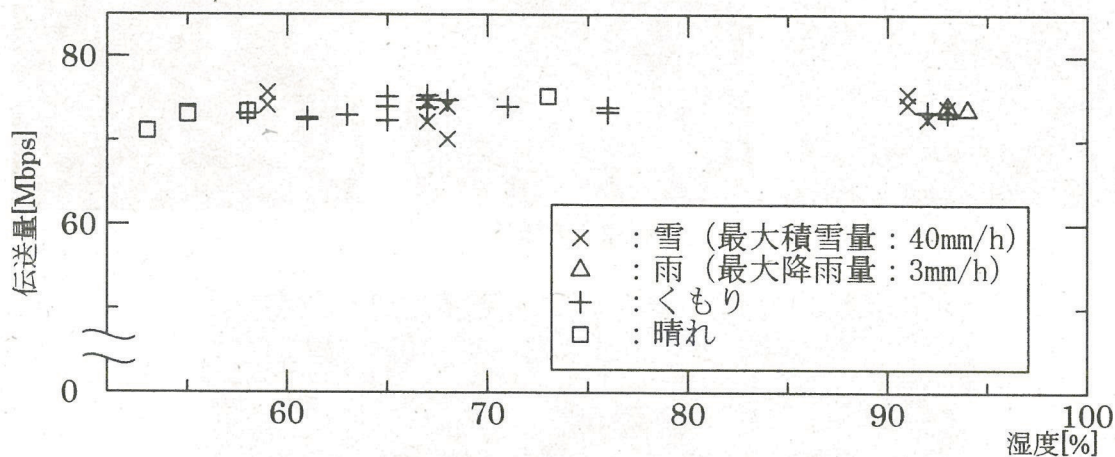


図 5 湿度と天候による伝送量の変化

3.3 多雪時の伝送量変化

光無線システムや無線LANでは、遠赤外から可視領域での光の減衰に関する森田らの式、

$$\sigma_{\text{atm}} = 13/V$$

(1)

ただし、 σ_{atm} は1kmあたりの減衰量、Vは視程[km]

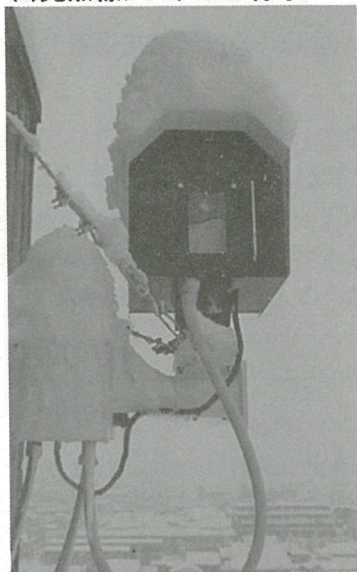
がよく引用される[5][6]。ここで言う視程とは『ある方向の視程とは、昼間の場合、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標（厳密には完全黒色）を認めることができる最大距離を言う（地上気象観測法によれば、視程目標として、通常鉛直方向の視角0.5度以上で、水平方向の視角が0.5度以上5度以下のものを選ぶことが規定されている）』としている[6]ので、本実験のような一般的な市街地の特定の時間帯に(1)式の適用に必要な視程を得ることは極めて困難である。しかし、森田らの定義に近い形での“視程”ならば得ることが出来ると考えた。具体的には、視角0.5度に相当する建造物が視認できるか、否かをその基準とした。例えば、視程200mとは1.8m四方の形が目標となり得るので、白い建物の黒い窓が識別可能、視程1500mでは13m程度の高さを有する黒ずんだ建物が識別可能、と考えることができる。

降雪時に伝送実験を行っていたところ、送信と受信の全伝送量が0Mbpsとなるとときがあった。このとき、光無線システムに搭載している受光感度レベルのメータはゼロを示し、この状態が約30分継続したことにより光無線システムが通信切断状態になっていたと判断された。このときの降雪状況は、福井地方気象台の報告によれば16年に1度の強い雪であった[3]。そのときの福井大学周辺および屋上の積雪状況を図6に示す。また、光無線システムを設置した福井大学建物屋上の積雪量から通信途切断時における推定降雪強度は、およそ70mm/hの値であった。図7に通信不能状態の降雪状況の写真を示し、図8に伝送量の推移を示す。

(a)地上の積雪



(b)光無線システムの様子



(c)屋上の積雪の様子



図6 積雪の様子

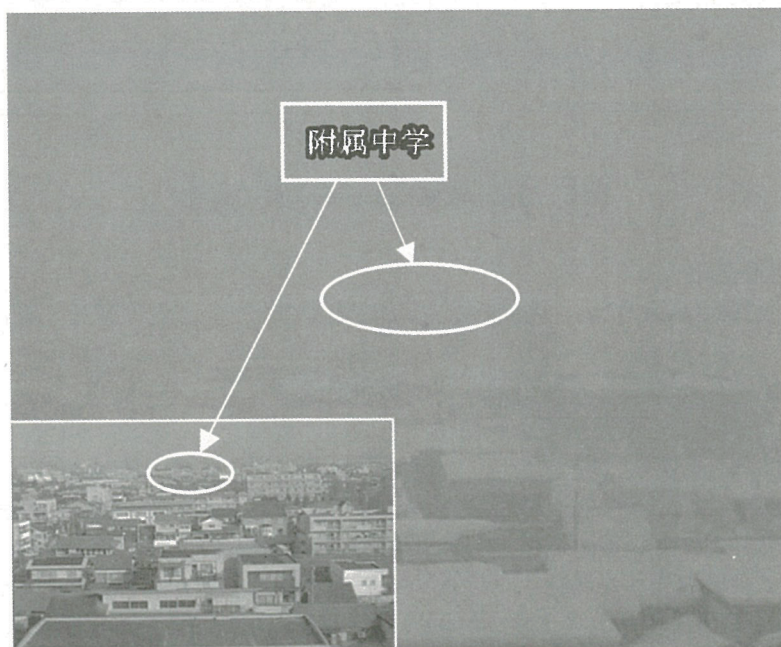


図7 伝送路が途絶したときの降雪状況
(左下が通常の視程時における同一視野の写真)

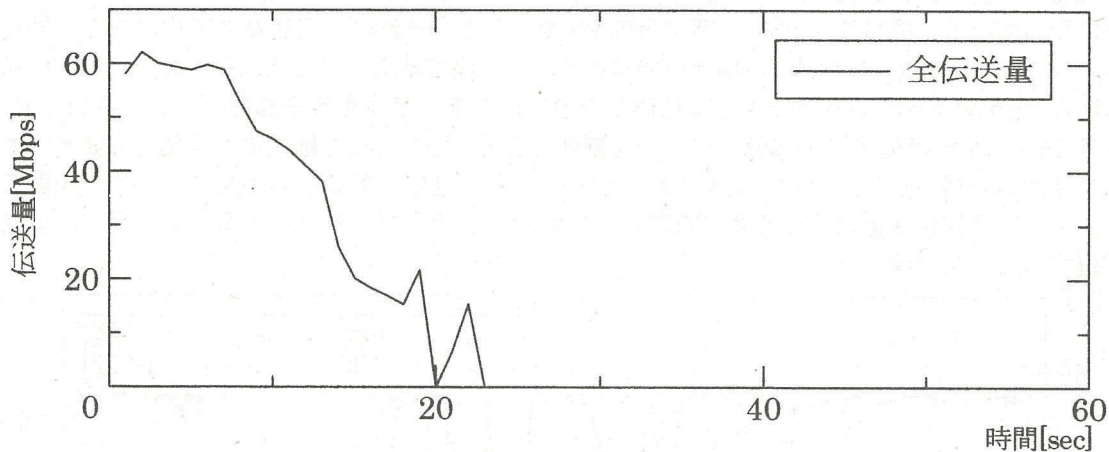


図8 伝送不能状態への推移

図7の写真の撮影前後の福井市内の状況は、降り続く雪のために前述の基準でおよそ200mの“視程”にあると判断した。本光無線システムにおける許容減衰量は、光無線システムの受光素子のダイナミックレンジ28dBを距離1.5kmで割った値およそ18.7dB/kmである。この数値を式(1)に適用すると695mであり、この数値以下の視程であれば伝送路として機能しないという条件であるから、筆者らの経験した視程200mは式(1)と許容減衰量から予測される条件を満たしている。しかし、直前まで通信が可能であったことから式(1)から予測した視程と通信距離の関係は、降雪の場合に適用することは問題が多いと考えた。これは、森田らの式が降雨に対して経験的に求めた式であり、降雪時に適用することの妥当性は検討されていないことによる。今後、再評価するか、もしくは新しい計算モデルを構築する必要があると考える。

3. 4 モデル化による飛翔物への通信耐性評価

光が減衰または途絶する要因としては、雨や雪による光の散乱及び吸収の他に、伝送路を横切るもの（主に鳥）の影響が指摘されている[2]。この問題に対して、飛翔物の大きさ及び、伝送路上に存在する時間によってどのような影響があるか評価した。評価方法は、アルミ箔を貼り付けた2枚の板を用いて光無線システムの前面の開口度を0%(開口角度0度)～開口度50%(開口角度180度)まで変化させ(図9参照)、前面を塞ぐ時間を1, 2, 3, 4, 10秒として、結果を図10.1, 10.2に示す。

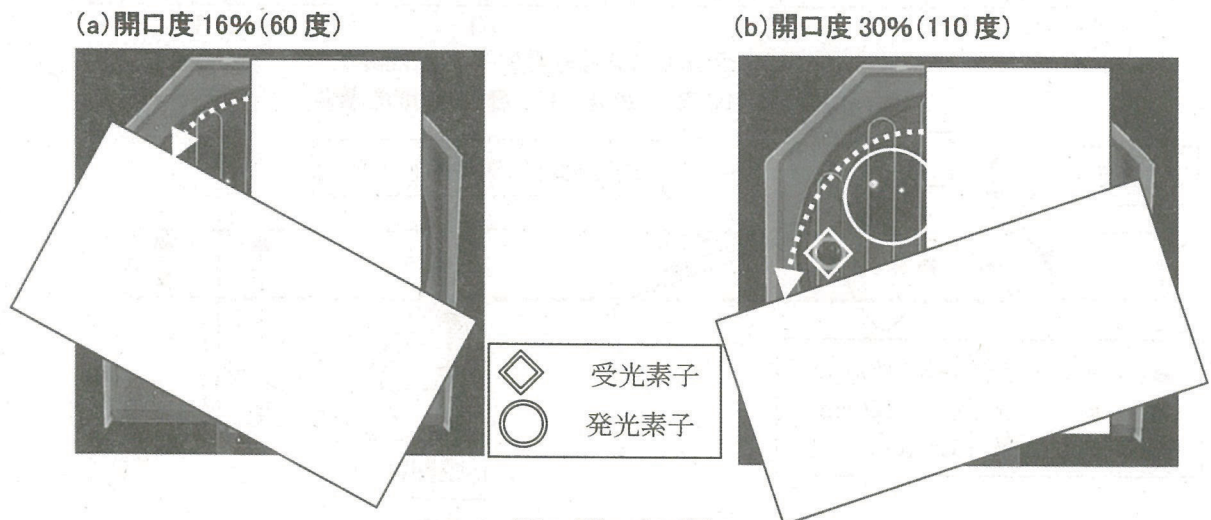
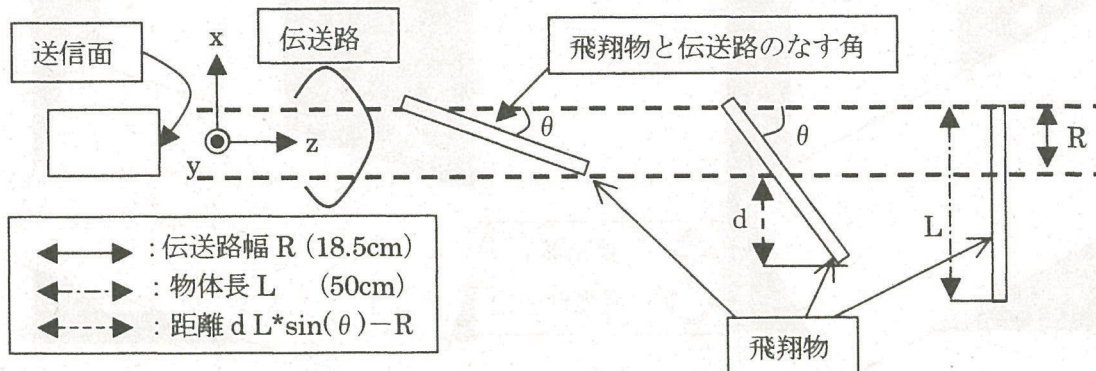
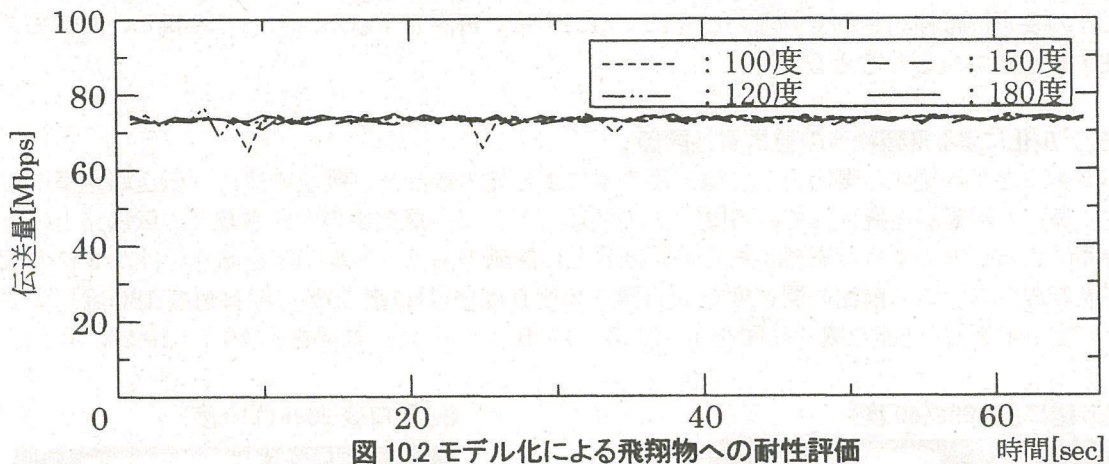
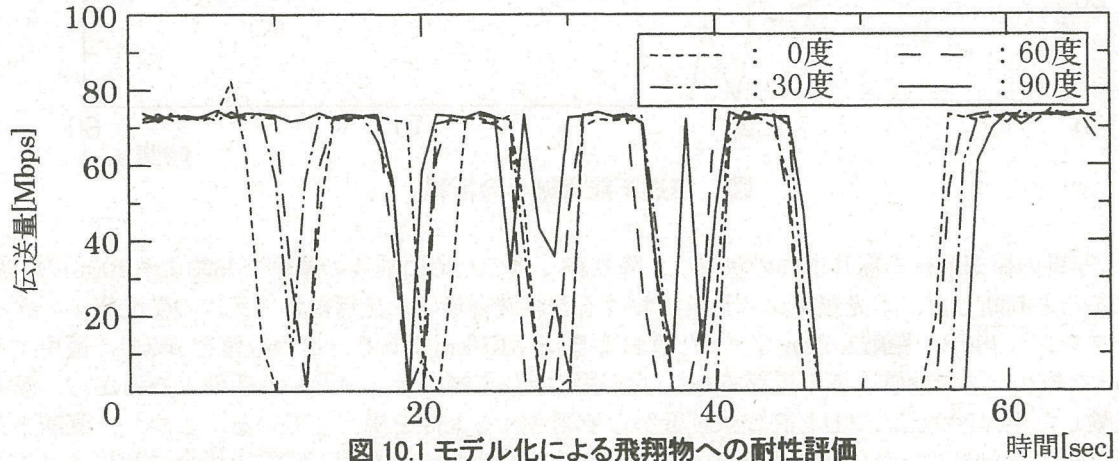


図9 開口度の例

開口度 0% の場合、伝送量は開口面を塞いだときのみ瞬時に低下を起し、覆いを外すとすぐに元の状態になっている。開口度が 25% (開口角度 90 度) 以上であれば、伝送量に変化はなく、開口度が 25% (開口角度 90 度) を下回った場合は開口度 0% と同様の結果を示した。図 9 より、開口角 25% 未満の場合、光無線システム双方で十分な見通しを得ている素子は受光素子部分だけである。しかし、開口角度 25% 以上では発光素子部分が見通しを確保できる。即ち、伝送量の変化は発光と受光用素子の一組の見通しが得られるか否かで決定されている。また、通信切断からの回復については実験でも明らかにように通信の途絶は全面を塞ぐ時間だけであり、2 枚の板を外せば即座にシステムの通信機能が回復することを確認した。



本光無線システムを運用する上で重要な飛翔物に対する耐性を考察する。図 11 にその概要図を示す。日本の街中で見られる大型の鳥類は大きくても全長はおよそ 0.5m であり、飛翔物を直径 L が 0.5m の円板状と仮定して評価する。本研究に用いたシステムの受光素子の隣り合う同種の素子の端までの長さ R は 18.5cm であり、直径 R の円筒状の空間が光無線システムの伝送路である。評価空間の座標系はシステムの送信面を $x-y$ 平面とし、対向する受信面方向を z 軸とする。飛翔物の飛行方向はシステムの $x-z$ 平面上のベクトルとし、直径 0.5m の円板状の物体が飛行速度 10km/h で伝送路に進入する仮定する。この条件において、飛翔物の面と伝送路が作る角度を θ とすると、飛翔物が伝送路を覆う条件は $L \sin(\theta) > R$ を満たす θ で伝送路に進入したときである。また、飛翔物が進入したとき伝送路を覆う時間 T は距離 $d = (L \sin(\theta) - R)$ を飛行速度で割った値であり、 $\theta = 90$ 度が最大で約 113ms であった。TCP/IP などのプロトコル上の再送要求が出される時間はおよそ 500 ms であり、それ以上の時間通信が途絶した場合に再送要求が出される[7]。前記 T は 500ms より小さいので伝送量に与える影響は少ないと考える。

4. まとめ

近年、ブロードバンドネットワークが普及し、その構成要素として無線システムが注目されている。本論文中で扱った光無線システムは、使用するための免許及び許可を必要としないが、指向性の強い赤外線を用いているので気象(雨、霧、雪など)や飛翔物(主に鳥)による伝送路の切断が危惧されている。本研究では、これらの要素に対する評価を実使用状態で行った。まず、気象が光無線システムに及ぼす評価を行った。その結果、冬季 3 ヶ月間における福井市の通常の気象状況で安定した伝送量を確保できるという結果を得た。また、福井市における 16 年に 1 度の大雪で通信の途絶が生じた際の状況から、遠赤外から可視領域での光の減衰に関する森田らの空間減衰に関する式については、多雪地域での光無線システムの導入にあたり、検証される必要があると考える。その結果に問題があれば、新しい計算モデルを構築する必要がある。

次に、飛翔物の通過による伝送量の変動を評価するモデル的な実験を行い、鳥類などの飛翔物が光無線システムの発光素子と受光素子の一組が確保できない場合は通信断が発生するが、鳥類の飛翔が光無線システムに与える影響は小さいことを確認した。

謝辞

本研究に当たり、多くの助言を戴いた森田和夫氏、吉田不二夫氏に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 守倉正博, 梅比良正博, 安部宗男, 2001, “無線アクセス技術”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.84, No.2, pp.105-111
- [2] 及川茂, 2000, “光空間通信・大都市の新しい通信インフラを目指して”, 電子情報通信学会誌, Vol.83, No.12, pp.903-905
- [3] 川本義美, 本多義明, 2001, “平成 13 年大雪が福井地域の交通と地域活動に及ぼした影響”, 日本海地域の自然と環境, No.8, pp.29-37
- [4] CCIR. Rept. 233, 1978
- [5] K. Morita and F. Yoshida, 1971: “Light Wave Attenuation in Propagation through the Atmosphere,” Review of the electrical communication laboratories, Vol.19, No.5-6, pp.714-725
- [6] 森田和夫, 吉田不二夫, 1969, “大気中伝ぱんにおける光波の減衰特性”, 研究実用化報告, 第 18 巻, 第 5 号, pp.1165-1185
- [7] 竹内隆史, 村山公保, 荒井透, 刈田幸雄, 1998, 「マスタリング TCP/IP 入門第 2 版」, オーム社